

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/008745

International filing date: 13 May 2005 (13.05.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP
Number: 2004-147914
Filing date: 18 May 2004 (18.05.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 16 June 2005 (16.06.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

日 本 国 特 許 庁 20.05.2005
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2 0 0 4 年 5 月 1 8 日

出 願 番 号
Application Number: 特 願 2 0 0 4 - 1 4 7 9 1 4

パリ条約による外国への出願
に用いる優先権の主張の基礎
となる出願の国コードと出願
番号

The country code and number
of your priority application,
to be used for filing abroad
under the Paris Convention, is

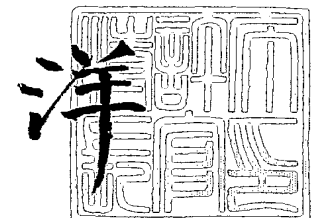
J P 2 0 0 4 - 1 4 7 9 1 4

出 願 人
Applicant(s): 住友電気工業株式会社

2 0 0 5 年 4 月 2 7 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川



【書類名】 特許願
【整理番号】 104I0044
【提出日】 平成16年 5月18日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 H01L 21/20
H01L 33/00
C30B 29/40 502

【発明者】
【住所又は居所】 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目 1 番 1 号 住友電気工業株式会社 伊丹製作所内
【氏名】 中畑 成二

【発明者】
【住所又は居所】 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目 1 番 1 号 住友電気工業株式会社 伊丹製作所内
【氏名】 中幡 英章

【特許出願人】
【識別番号】 000002130
【住所又は居所】 大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3 号
【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代理人】
【識別番号】 100064746
【弁理士】
【氏名又は名称】 深見 久郎

【選任した代理人】
【識別番号】 100085132
【弁理士】
【氏名又は名称】 森田 俊雄

【選任した代理人】
【識別番号】 100083703
【弁理士】
【氏名又は名称】 仲村 義平

【選任した代理人】
【識別番号】 100096781
【弁理士】
【氏名又は名称】 堀井 豊

【選任した代理人】
【識別番号】 100098316
【弁理士】
【氏名又は名称】 野田 久登

【選任した代理人】
【識別番号】 100109162
【弁理士】
【氏名又は名称】 酒井 將行

【手数料の表示】
【予納台帳番号】 008693
【納付金額】 16,000円

【提出物件の目録】
【物件名】 特許請求の範囲 1
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1
【包括委任状番号】 9908053

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

下地基板上に 1 以上の I I I 族窒化物半導体結晶を成長させる工程と、前記 I I I 族窒化物半導体結晶を前記下地基板から分離する工程とを含み、

前記 I I I 族窒化物半導体結晶の厚さが $10\ \mu\text{m} \sim 500\ \mu\text{m}$ 、幅が $0.2\text{mm} \sim 5\text{mm}$ である I I I 族窒化物半導体結晶の製造方法。

【請求項 2】

1 以上の前記 I I I 族窒化物半導体結晶を成長させる工程が、前記下地基板上に 1 以上の開口部を有するマスク層を形成する工程と、少なくとも前記マスク層の前記開口部下に位置する前記下地基板の開口面上に前記 I I I 族窒化物半導体結晶を成長させる工程とを含む請求項 1 に記載の I I I 族窒化物半導体結晶の製造方法。

【請求項 3】

1 以上の前記 I I I 族窒化物半導体結晶を成長させる工程が、前記下地基板上に 1 以上の種結晶を設置する工程と、前記種結晶を核として前記 I I I 族窒化物半導体結晶を成長させる工程とを含む請求項 1 に記載の I I I 族窒化物半導体結晶の製造方法。

【請求項 4】

前記 I I I 族窒化物半導体結晶の形状が、六角平板状、四角平板状または三角平板状である請求項 1 ～請求項 3 のいずれかに記載の I I I 族窒化物半導体結晶の製造方法。

【請求項 5】

請求項 1 ～請求項 4 のいずれかに記載の I I I 族窒化物半導体結晶の製造方法を用いて製造された I I I 族窒化物半導体結晶。

【請求項 6】

下地基板上に 1 以上の I I I 族窒化物半導体結晶基板を成長させる工程と、前記 I I I 族窒化物半導体結晶基板上に 1 層以上の I I I 族窒化物半導体結晶層を成長させる工程と、前記 I I I 族窒化物半導体結晶基板および前記 I I I 族窒化物半導体結晶層から構成される I I I 族窒化物半導体結晶を前記下地基板から分離する工程とを含み、

前記 I I I 族窒化物半導体結晶の厚さが $10\ \mu\text{m} \sim 500\ \mu\text{m}$ 、幅が $0.2\text{mm} \sim 5\text{mm}$ である I I I 族窒化物半導体デバイスの製造方法。

【請求項 7】

1 以上の前記 I I I 族窒化物半導体結晶基板を成長させる工程が、前記下地基板上に 1 以上の開口部を有するマスク層を形成する工程と、少なくとも前記マスク層の前記開口部下に位置する下地基板の開口面上に前記 I I I 族窒化物半導体結晶基板を成長させる工程とを含む請求項 6 に記載の I I I 族窒化物半導体デバイスの製造方法。

【請求項 8】

1 以上の前記 I I I 族窒化物半導体結晶基板を成長させる工程が、前記下地基板上に 1 以上の種結晶を設置する工程と、前記種結晶を核として前記 I I I 族窒化物半導体結晶基板を成長させる工程とを含む請求項 6 に記載の I I I 族窒化物半導体デバイスの製造方法。

【請求項 9】

請求項 6 ～請求項 8 のいずれかに記載の I I I 族窒化物半導体デバイスの製造方法を用いて製造された I I I 族窒化物半導体デバイス。

【請求項 10】

前記 I I I 族窒化物半導体結晶基板の裏面に凹凸表面が形成されている請求項 9 に記載の I I I 族窒化物半導体デバイス。

【請求項 11】

前記 I I I 族窒化物半導体結晶基板の裏面に形成されている凹凸表面の表面粗さ R_{p-v} が $0.01\ \mu\text{m} \sim 50\ \mu\text{m}$ である I I I 族窒化物半導体デバイス。

【書類名】 明細書

【発明の名称】 III 族窒化物半導体結晶およびその製造方法ならびに III 族窒化物半導体デバイスおよびその製造方法

【技術分野】**【0001】**

本発明は、半導体デバイスに用いられる III 族窒化物半導体結晶およびその製造方法ならびに III 族窒化物半導体デバイスおよびその製造方法に関する。

【背景技術】**【0002】**

III 族窒化物半導体結晶は、発光ダイオード (Light Emitting Diode、以下 LED という)、レーザダイオード (Laser Diode、以下 LD という) などの半導体デバイスに広く用いられている。

【0003】

III 族窒化物半導体結晶を含む III 族窒化物半導体デバイスは、従来、以下の多くの工程を経て製造されていた。すなわち、下地基板上に厚い III 族窒化物半導体結晶を形成する工程、この III 族窒化物半導体結晶から下地基板を除去する工程、および上記 III 族窒化物半導体結晶をスライスし、表面を研磨する工程を経て所定厚さの III 族窒化物半導体結晶基板を得る。さらに、この III 族窒化物半導体結晶基板上に 1 層以上の III 族半導体結晶層を形成する工程および所定の大きさのチップに切り出す工程を経て所定の大きさの半導体デバイスを得る (たとえば、特許文献 1 参照)。

【0004】

ここで、下地基板が成長させようとする III 族窒化物以外の材料によって構成されている異種基板である場合に、大きな III 族窒化物半導体結晶を得ようとする、格子不整合による III 族窒化物半導体結晶の割れ、転位密度の増大などを防止するため、III 族窒化物半導体結晶をラテラル成長させるための開口部を有するマスク層を下地基板上にマスク層を形成する工程、または、下地基板の結晶格子情報を III 族窒化物半導体結晶に伝えないようにするための III 族窒化物バッファ層を下地基板上に形成する工程などをさらに必要とする。

【0005】

このように、従来の製造方法は、上記のように製造工程が多く、特に、III 族窒化物半導体結晶のスライスおよび研磨工程、チップへの切り出し工程には、長時間を要するため、非効率的なものであった。

【0006】

そこで、より効率よく所定の大きさの III 族窒化物半導体デバイスを製造することが要望されていた。

【特許文献 1】 特開 2002-261014 号公報

【発明の開示】**【発明が解決しようとする課題】****【0007】**

上記の状況に鑑み、本発明は、半導体デバイス程度の寸法の III 族半導体結晶およびその効率的な製造方法ならびに III 族窒化物半導体デバイスおよびその効率的な製造方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】**【0008】**

本発明は、下地基板上に 1 以上の III 族窒化物半導体結晶を成長させる工程と、III 族窒化物半導体結晶を下地基板から分離する工程とを含み、III 族窒化物半導体結晶の厚さが $10\ \mu\text{m} \sim 500\ \mu\text{m}$ 、幅が $0.2\ \text{mm} \sim 5\ \text{mm}$ である III 族窒化物半導体結晶の製造方法である。

【0009】

本発明にかかる III 族窒化物半導体結晶の製造方法において、1 以上の III 族窒化

物半導体結晶を成長させる工程が、下地基板上に1以上の開口部を有するマスク層を形成する工程と、少なくともこのマスク層の開口部下に位置する下地基板の開口面上にIII族窒化物半導体結晶を成長させる工程とを含むことができる。

【0010】

また、本発明にかかるIII族窒化物半導体結晶の製造方法において、1以上のIII族窒化物半導体結晶を成長させる工程が、下地基板上に1以上の種結晶を設置する工程と、この種結晶を核としてIII族窒化物半導体結晶を成長させる工程とを含むことができる。

【0011】

さらに、本発明にかかるIII族窒化物半導体結晶の製造方法により得られるIII族窒化物半導体結晶の形状は、六角平板状、四角平板状または三角平板状となることができる。

【0012】

本発明は、上記のIII族窒化物半導体結晶の製造方法を用いて製造されたIII族窒化物半導体結晶である。

【0013】

本発明は、下地基板上に1以上のIII族窒化物半導体結晶基板を成長させる工程と、III族窒化物半導体結晶基板上に1層以上のIII族窒化物半導体結晶層を成長させる工程と、III族窒化物半導体結晶基板およびIII族窒化物半導体結晶層から構成されるIII族窒化物半導体結晶を下地基板から分離する工程とを含み、III族窒化物半導体結晶の厚さが $10\mu\text{m}\sim 500\mu\text{m}$ 、幅が $0.2\text{mm}\sim 5\text{mm}$ であるIII族窒化物半導体デバイスの製造方法である。

【0014】

本発明にかかるIII族窒化物半導体デバイスの製造方法において、1以上のIII族窒化物半導体結晶基板を成長させる工程が、下地基板上に1以上の開口部を有するマスク層を形成する工程と、少なくともマスク層の前記開口部下に位置する下地基板の開口面上にIII族窒化物半導体結晶基板を成長させる工程とを含むことができる。

【0015】

また、本発明にかかるIII族窒化物半導体デバイスの製造方法において、1以上のIII族窒化物半導体結晶基板を成長させる工程が、下地基板上に1以上の種結晶を設置する工程と、種結晶を核としてIII族窒化物半導体結晶基板を成長させる工程とを含むことができる。

【0016】

本発明は、上記のIII族窒化物半導体デバイスの製造方法を用いて製造されたIII族窒化物半導体デバイスである。

【0017】

本発明にかかるIII族窒化物半導体デバイスにおいて、III族窒化物半導体結晶基板の裏面に凹凸表面を形成することができる。さらに、本発明にかかるIII族窒化物半導体デバイスにおいて、III族窒化物半導体結晶基板の裏面に形成される凹凸表面の表面粗さ R_p-v を $0.01\mu\text{m}\sim 50\mu\text{m}$ とすることができる。ここで、III族窒化物半導体基板の裏面とは、III族窒化物半導体基板において、1層以上のIII族窒化物半導体結晶層が形成されている面と反対側の面をいう。

【発明の効果】

【0018】

上記のように、本発明によると、半導体デバイス程度の大きさのIII族半導体結晶およびその効率的な製造方法ならびにIII族窒化物半導体デバイスおよびその効率的な製造方法を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

(実施形態1)

本発明にかかる一の III 族窒化物半導体結晶の製造方法は、図 1 を参照して、図 1 (a) および図 1 (b) に示すように、下地基板 1 上に 1 以上の III 族窒化物結晶 10 を成長させる工程と、図 1 (c) または図 1 (d) に示すように、この III 族窒化物結晶 10 を下地基板 1 から分離する工程とを含み、III 族窒化物半導体結晶の厚さが $10\ \mu\text{m}$ ~ $500\ \mu\text{m}$ 、幅が $0.2\ \text{mm}$ ~ $5\ \text{mm}$ という半導体デバイス程度の大きさである III 族窒化物半導体結晶の製造方法である。ここで、III 族窒化物半導体結晶の幅とは、III 族窒化物半導体結晶の形状が、円状の場合はその直径をいい、多角形状の場合は一つの辺と向かい合う辺または角との距離をいう。かかる製造方法により、従来の製造方法のような III 族窒化物半導体結晶のスライス、研磨およびチップ化などの工程を得ることなく、直接的かつ効率的に半導体デバイス程度の大きさの III 族窒化物半導体結晶が得られる。

【0020】

また、半導体デバイス程度の大きさである厚さが $10\ \mu\text{m}$ ~ $500\ \mu\text{m}$ 、幅が $0.2\ \text{mm}$ ~ $5\ \text{mm}$ の III 族窒化物半導体結晶を成長させることから、下地基板が成長させようとする III 族窒化物以外の材料によって構成されている異種基板であっても、下地基板と III 族窒化物半導体結晶との格子不整合による歪みは小さく、III 族窒化物バッファ層の形成、またはラテラル成長をさせるための開口部を有するマスク層の形成は不要となる。

【0021】

本実施形態における III 族窒化物半導体結晶の製造方法は、詳しくは、下地基板 1 上に 1 以上の III 族窒化物結晶 10 を成長させる工程として、図 1 (a) に示す下地基板 1 に 1 以上の開口部 2a を有するマスク層 2 を形成する工程と、図 1 (b) に示すマスク層 2 の開口部 2a 下に位置する下地基板 1 の開口面 1a 上に III 族窒化物半導体結晶 10 を成長させる工程とを含む。

【0022】

図 1 (a) に示す開口部 2a を有するマスク層 2 を形成する工程において、開口部 2a の大きさには、特に制限はないが、開口部 2a の開口幅 W_w は $0.2\ \text{mm}$ ~ $5\ \text{mm}$ であることが、幅が $0.2\ \text{mm}$ ~ $5\ \text{mm}$ である III 族窒化物半導体結晶を容易に得る点から好ましい。また、開口部の分布にも、特に制限はないが、均一に分散していることが、大きさの均一な III 族窒化物半導体結晶を容易に得る点から好ましい。開口部の形状は、特に制限はなく、円状であると多角形状であるとを問わないが、六方晶系または立方晶系に属する III 族窒化物半導体結晶は、六角平板状、四角平板状または三角平板状の形状をとりやすいことから、六角形状、四角形状または三角形状であることが好ましい。ここで、開口部の開口幅とは、円状の開口部の場合は直径、多角形の場合は一つの辺と向かい合う辺または角との距離をいう。さらに、マスク層は、III 族窒化物半導体結晶の成長を抑制するものであれば特に制限はなく、 SiO_2 、 SiN 、 W 、 Ni 、 Ti などが好ましく用いられる。

【0023】

図 1 (b) に示す下地基板 1 の開口面 1a 上に III 族窒化物半導体結晶を成長させる工程において、成長させられる III 族窒化物半導体結晶 10 は、1 層の結晶層とは限らず、2 層以上の結晶層であってもよい。たとえば、III 族窒化物半導体結晶 10 が、III 族窒化物半導体結晶基板 11 およびその III 族窒化物半導体結晶基板 11 上に形成された 1 層以上の III 族窒化物半導体結晶層 12 から構成されるものであってもよい。この場合は、III 族窒化物半導体結晶を成長させる工程は、下地基板 1 の開口面 1a 上に III 族窒化物半導体結晶基板 11 を成長させる工程、III 族窒化物半導体結晶基板 11 上に 1 層以上の III 族窒化物半導体結晶層 12 を成長させる工程を含むことになる。

【0024】

また、III 族窒化物結晶の成長方法には、特に制限がなく、HVPE (ハイドライド気相成長法; Hydride Vapor Phase Epitaxy) 法、MOCVD (有機金属化学気相堆積法

; Metal Organic Chemical Vapor Deposition) 法、MBE (分子線エピタキシ; Molecular Beam Epitaxy) 法などの各種気相成長法が好ましく用いられる。なかでも、III族窒化物半導体結晶基板11のように厚い層を形成する場合は成長速度の大きいHVPE法が、薄くても表面の平坦性が求められるIII族窒化物半導体結晶層12の成長には、MOCVD法が特に好ましく用いられる。

【0025】

本実施形態においては、III族窒化物半導体結晶10は、下地基板の開口面1a上のみに成長し、マスク層2上には成長しない。このような、III族窒化物半導体結晶の成長は、マスク層において開口部の間隔 P_w と開口部の開口幅 W_w との差が小さいとき、マスク層の材質としてSiNまたはWを使用したときに起こりやすく、また結晶の成長温度が高く、成長時間が短いときに起こりやすい。

【0026】

III族窒化物半導体結晶10を上記下地基板1から分離する方法には、特に制限はないが、レーザなどによって機械的に分離する方法、エッチングなどによって化学的に分離する方法が、III族窒化物半導体結晶10の損傷が少ない点から、好ましく用いられる。

【0027】

レーザによって機械的に分離する方法とは、図1(c)を参照して、III族窒化物半導体結晶10において下地基板1に接する下面(下地基板側表面)10aと下地基板の開口面1aとをレーザにより切断することにより、III族窒化物半導体結晶10を下地基板1から分離する方法である。

【0028】

また、エッチングによって化学的に分離する方法としては、図1(d)を参照して、エッチング剤を用いてマスク層2およびIII族窒化物半導体結晶において下地基板1に接する下面10aをエッチングすることにより、III族窒化物半導体結晶10を下地基板1から分離する方法がある。ここで、SiN、SiO₂などのマスク層2をエッチングするためのエッチング剤としてはフッ酸などの腐食性酸が用いられ、W、Ni、Tiなどのマスク層2をエッチングするためのエッチング剤としては硝酸、フッ酸、硫酸銅などからなる混酸が用いられ、III族窒化物半導体結晶10において下地基板1に接する下面10aをエッチングするためのエッチング剤としてはKOHなどの強塩基が用いられる。

【0029】

ここで、III族窒化物半導体結晶は、結晶の成長方向に窒素元素からなる原子層とIII族元素からなる原子層とが交互に配列された結晶構造を有しており、結晶の成長方向に垂直な面には、窒素元素からなる原子面と、III族元素からなる原子面とが存在する。下地基板上にIII族窒化物半導体結晶が成長する際には、通常、下地基板上から結晶の成長方向に窒素元素からなる原子層、III族元素からなる原子層、窒素元素からなる原子層、III族元素からなる原子層・・・の順で結晶成長するため、図1(d)を参照して、III族窒化物半導体結晶10において下地基板1に接する下面10aは窒素元素からなる原子面となり、上面10bはIII族元素からなる原子面となる。III族窒化物半導体結晶は化学的に安定な結晶であり、III族元素からなる原子面である上面10bの方からはエッチングされにくい、窒素元素からなる原子面である下面10aの方からはKOHなどの強塩基によって容易にエッチングされる。

【0030】

なお、図示はしないが、エッチングによって化学的に分離する方法としては、下地基板1をエッチングによって除去することもできる。Siなどの下地基板をエッチングするためのエッチング剤としてはフッ酸などの腐食性酸が用いられる。

【0031】

(実施形態2)

本発明にかかる別のIII族窒化物半導体結晶の製造方法は、図2を参照して、下地基板1上に1以上のIII族窒化物結晶10を成長させる工程として、図2(a)に示す下

地基板 1 に 1 以上の開口部 2 a を有するマスク層 2 を形成する工程と、図 2 (b) に示すマスク層 2 の開口部 2 a 下に位置する下地基板の開口面 1 a および開口部 2 a を取り囲むマスク層の一部上面 2 b 上に I I I 族窒化物半導体結晶 1 0 を成長させる工程とを含む。

【0032】

実施形態 1 は I I I 族窒化物半導体結晶をマスク層の開口部下に位置する下地基板 1 の開口面 1 a 上のみに成長させるのに対し、本実施形態はマスク層 2 の開口部 2 a 下に位置する下地基板 1 の開口面 1 a 上のみならず開口部 2 a を取り囲むマスク層 2 の一部上面 2 b 上にも I I I 族窒化物半導体結晶 1 0 が成長する点で異なる。このような、I I I 族窒化物半導体結晶の成長は、マスク層において開口部の間隔 P_w と開口部の開口幅 W_w との差が大きいときに起こりやすく、また結晶の成長温度が高く、原料ガス圧力が低いときに起こりやすい。

【0033】

本実施形態においては、I I I 族窒化物半導体結晶 1 0 を上記下地基板 1 から分離する方法としては、図 2 (c) および図 2 (d) に示すようなエッチングによって化学的に分離する方法が好ましい。すなわち、図 2 (c) に示すように、フッ酸などの腐食性酸を用いて SiO_2 、 SiN などのマスク層 2 をエッチングした後、図 2 (d) に示すように、 KOH などの強塩基を用いて I I I 族窒化物半導体結晶において下地基板 1 に接する下面 1 0 a をエッチングすることにより、I I I 族窒化物半導体結晶 1 0 を下地基板 1 から分離する。本実施形態においては、マスク層 2 が I I I 族窒化物半導体結晶 1 0 における下地基板側の表面の一部に入りこんだ形状となっているため、マスク層 2 をエッチングにより除去することにより、I I I 族窒化物半導体結晶において下地基板と接する下面 1 0 a である窒素元素からなる原子面のエッチングが容易になる。

【0034】

(実施形態 3)

本発明にかかるまた別の I I I 族窒化物半導体結晶の製造方法は、図 3 を参照して、下地基板 1 上に 1 以上の I I I 族窒化物結晶 1 0 を成長させる工程として、図 3 (a) に示す下地基板 1 に 1 以上の開口部 2 a を有するマスク層 2 を形成する工程と、図 3 (b) に示すマスク層 2 の開口部 2 a 下に位置する下地基板の開口面 1 a に I I I 族窒化物半導体結晶 1 0 を成長させるとともに、マスク層 2 上に極性が反転した I I I 族窒化物半導体極性反転結晶 3 を成長させる工程とを含む。このような、I I I 族窒化物半導体結晶 1 0 および I I I 族窒化物半導体極性反転結晶 3 の成長は、マスク層において開口部の間隔 P_w と開口部の開口幅 W_w との差が大きいとき、マスク層の材質として Ni または Ti を使用したときに起こりやすく、また結晶の成長温度が低く、原料ガス圧が高いときに起こりやすい。

【0035】

ここで、極性が反転するとは、I I I 族窒化物半導体結晶において、 $\langle h k l \rangle$ 軸に垂直な対向する 2 面である $(h k l)$ 面と $(-h -k -l)$ 面とを構成する原子面が反転することをいう。上記のように、下地基板上に I I I 族窒化物半導体結晶が成長する際には、通常、下地基板上から結晶の成長方向に、窒素元素からなる原子層、I I I 族元素からなる原子層、窒素元素からなる原子層、I I I 族元素からなる原子層・・・の順で結晶成長するため、図 3 (b) を参照して、I I I 族窒化物半導体結晶 1 0 において下地基板 1 に接する下面 1 0 a は窒素元素からなる原子面となり、上面 1 0 b は I I I 族元素からなる原子面となる。これに対して、 SiO_2 、 Ni 、 Ti などのマスク層上に I I I 族窒化物半導体結晶が成長する際には、マスク層上から結晶の成長方向に、I I I 族元素からなる原子層、窒素元素からなる原子層、I I I 族元素からなる原子層、窒素元素からなる原子層・・・の順で結晶成長するため、図 3 (b) を参照して、I I I 族窒化物半導体極性反転結晶においてマスク層 2 に接する下面 3 a は I I I 族元素からなる原子面となり、上面 3 b は窒素元素からなる原子面となる。また、I I I 族窒化物半導体結晶は、上記のように、I I I 族元素からなる原子面の方からはエッチングされにくい、窒素元素からなる原子面の方からは KOH などの強塩基によって容易にエッチングされる。

【0036】

したがって、本実施形態においては、III族窒化物半導体結晶10を上記下地基板1から分離する工程としては、図3(c)に示すように、マスク層2上に成長したIII族窒化物半導体極性反転結晶3を上面3bである窒素元素からなる原子面の方からKOHなどの強塩基を用いてエッチングした後、SiO₂、Ni、Tiなどのマスク層2を、フッ酸などの腐食性酸または硝酸、フッ酸、硫酸銅などからなる混酸を用いてエッチングする。さらに、図3(d)に示すように、KOHなどの強塩基を用いてIII族窒化物半導体結晶10において下地基板1に接する下面10aをエッチングすることにより、III族窒化物半導体結晶10を下地基板1から分離することができる。

【0037】

なお、III族窒化物半導体結晶の下面の面積が大きくなって、上記エッチングが困難となる場合は、図示はしないが、III族窒化物半導体結晶と下地基板との界面をレーザなどで切断することにより、III族窒化物半導体結晶を上記下地基板から分離することもできる。

【0038】

(実施形態4)

本発明にかかるさらに別のIII族窒化物半導体結晶の製造方法は、図4を参照して、下地基板1上に1以上のIII族窒化物結晶10を成長させる工程として、図4(a)に示す下地基板1に1以上の種結晶4を設置する工程と、図4(b)に示す種結晶4を核としてIII族窒化物半導体結晶10を成長させる工程とを含む。なお、種結晶は、特に制限はないが、品質のよい結晶を得る点から、成長させようとするIII族窒化物半導体結晶と同種の結晶であることが好ましい。

【0039】

本実施形態は、下地基板1上に種結晶2を設置するだけであるので、種結晶を核として成長したIII族窒化物半導体結晶10が下地基板1に固着することが少なく、図4(c)に示すように、少しの力を加えただけでIII族窒化物半導体結晶10を下地基板1から分離することができる。なお、III族窒化物半導体結晶10が下地基板1から外れにくい場合は、III族窒化物結晶半導体結晶10における下地基板1に接する下面10aを、レーザなどにより切断することにより、またはKOHなどの強塩基によってエッチングすることにより、III族窒化物半導体結晶10を下地基板1から分離することもできる。

【0040】

ここで、III族窒化物半導体結晶は、六方晶系または立方晶系に属するため、図5に示すように、上記実施形態1～実施形態4において成長するIII族窒化物半導体結晶10の形状は、下面10aおよび上面10bが六角形状である六角平板状(図5(a))、下面10aおよび上面10bが四角形状である四角平板状(図5(b))または下面10aおよび上面10bが三角形状である三角平板状(図5(c))となりやすい。ここで、四角平板には、四角形の形状が正方形、長方形、ひし形となるものが含まれる。また、図5に示すように、上記六角平板、四角平板または三角平板の下面10aと側面10sとのなす角 θ は、結晶の成長条件により、45°～90°の角度をとり得る。特に、上記の角 θ は、60°および90°付近の値をとることが多い。

【0041】

なお、図5に示すように、III族窒化物半導体結晶10の幅Wとは下面10aにおける一つの辺と向かい合う辺または角との距離をいい、III族窒化物半導体結晶10の厚さTとは、下面10aと上面10bとの距離をいう。

【0042】

(実施形態5)

本発明にかかる一のIII族窒化物半導体デバイスの製造方法は、図1を参照して、図1(a)および図1(b)に示すように、下地基板1上に1以上のIII族窒化物半導体結晶基板11を成長させる工程と、図1(b)に示すように、III族窒化物半導体結晶

基板 11 上に 1 層以上の III 族窒化物半導体結晶層 12 を成長させる工程と、図 1 (c) または図 1 (d) に示すように、III 族窒化物半導体結晶基板 11 および III 族窒化物半導体結晶層 12 から構成される III 族窒化物半導体結晶 10 を下地基板 1 から分離する工程を含み、III 族窒化物半導体結晶 10 の厚さが $10\mu\text{m} \sim 500\mu\text{m}$ 、幅が $0.2\text{mm} \sim 5\text{mm}$ である III 族窒化物半導体デバイスの製造方法である。

【0043】

本実施形態における III 族窒化物半導体デバイスの製造方法は、詳しくは、下地基板 1 上に 1 以上の III 族窒化物結晶基板 11 を成長させる工程として、図 1 (a) に示す下地基板 1 に 1 以上の開口部 2a を有するマスク層 2 を形成する工程と、図 1 (b) に示すマスク層 2 の開口部 2a 下に位置する下地基板 1 の開口面 1a 上に III 族窒化物半導体結晶基板 11 を成長させる工程とを含む。ここで、III 族窒化物半導体結晶基板 11 を成長させる方法および条件は、実施形態 1 における III 族窒化物半導体結晶 10 を成長させる方法および条件と同様である。

【0044】

次に、図 1 (b) に示すように、上記 III 族窒化物半導体結晶基板 11 上に、1 層以上の III 族窒化物半導体結晶層 12 を成長させる。このように既にチップ状の III 族窒化物半導体結晶基板 11 上に 1 層以上の III 族窒化物半導体結晶層 12 を成長させる工程を設けることにより、その後のチップ化の工程を省略することができる。ここで、III 族窒化物半導体結晶層 12 の成長方法には、特に制限がなく、HVPE 法、MOCVD 法、MBE 法などの各種気相成長法が好ましく用いられ、結晶層表面の平坦性に優れる点から MOCVD 法が特に好ましく用いられる。

【0045】

ここで、図 1 (b) に示すように、III 族窒化物半導体結晶基板 11 上に、1 層以上の III 族窒化物半導体結晶層 12 として、たとえば、n 型 GaN 層 21、 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層 22、 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層 23、p 型 GaN 層 24 を順次成長させる。

【0046】

次に、図示はしないが、III 族窒化物半導体結晶層 12 の最上面 (p 型 GaN 層 24 の上面に相当) に p 側電極を形成した後、図 1 (c) または図 1 (d) に示すように、III 族窒化物半導体結晶基板 11 と III 族窒化物半導体結晶層 12 から構成される III 族窒化物半導体結晶 10 を下地基板 1 から分離する。この III 族窒化物半導体結晶 10 を下地基板 1 から分離する方法は、実施形態 1 と同様である。

【0047】

さらに、図示はしないが、下地基板 1 から分離した III 族窒化物半導体 10 の下面 10a (III 族窒化物半導体基板 11 の下面に相当) に n 側電極を形成することによって半導体デバイスが得られる。

【0048】

図 5 を参照して、上記 III 族窒化物結晶 10 の形状が、六角平板状、四角平板状または三角平板状の形状をとりやすく、この平板の側面 10s と下面 10a とのなす角 θ が、 $45^\circ \sim 90^\circ$ の角をとり得ることから、上記実施形態 5 において得られる半導体デバイスの形状も、六角平板状、四角平板状または三角平板状の形状をとりやすく、この平板の側面と下面とのなす角 θ も、 $45^\circ \sim 90^\circ$ の角をとり得る。したがって、半導体デバイスの上面と下面の大きさは必ずしも一致しないが、半導体デバイスの幅に対して厚さが著しく小さいため、上面と下面との大きさの差は小さく、このまま半導体デバイスとして使用することが可能である。また、半導体デバイスの側面が下面および上面に対して垂直になるように裁断することにより、上面と下面との大きさを一致させることも可能である。なお、このことは、以下の実施形態 6 ～実施形態 9 における半導体デバイスについても同様である。

【0049】

(実施形態 6)

本発明にかかる別の III 族窒化物半導体デバイスの製造方法は、図 2 を参照して、下

地基板 1 上に 1 以上の I I I 族窒化物結晶基板 1 1 を成長させる工程として、図 2 (a) に示す下地基板 1 に 1 以上の開口部 2 a を有するマスク層 2 を形成する工程と、図 2 (b) に示すマスク層 2 の開口部 2 a 下に位置する下地基板の開口面 1 a および開口部 2 a を取り囲むマスク層の一部上面 2 b 上に I I I 族窒化物半導体結晶基板 1 1 を成長させる工程とを含む。ここで、I I I 族窒化物半導体結晶基板 1 1 を成長させる方法および条件は、実施形態 2 における I I I 族窒化物半導体結晶 1 0 を成長させる方法および条件と同様である。

【0050】

次に、図 2 (b) に示すように、実施形態 5 と同様にして、上記 I I I 族窒化物半導体結晶基板上に 1 層以上の I I I 族窒化物半導体結晶層 1 2 を成長させる。次いで、図示はしないが、I I I 族窒化物半導体結晶層 1 2 の最上面に p 側電極を形成する。次に、図 2 (c) および図 2 (d) に示すように、実施形態 2 と同様にして、I I I 族窒化物半導体結晶基板 1 1 および I I I 族窒化物半導体結晶層 1 2 から構成される I I I 族窒化物半導体結晶 1 0 を上記下地基板 1 から分離する。さらに、図示はしないが、下地基板 1 から分離した I I I 族窒化物半導体 1 0 の下面 1 0 a (I I I 族窒化物半導体基板 1 1 の下面に相当) に n 側電極を形成することによって半導体デバイスが得られる。

【0051】

(実施形態 7)

本発明にかかるまた別の I I I 族窒化物半導体デバイスの製造方法は、図 3 を参照して、下地基板 1 上に 1 以上の I I I 族窒化物結晶基板 1 1 を成長させる工程として、図 3 (a) に示す下地基板 1 に 1 以上の開口部 2 a を有するマスク層 2 を形成する工程と、図 3 (b) に示すマスク層 2 の開口部 2 a 下に位置する下地基板の開口面 1 a に I I I 族窒化物半導体結晶基板 1 1 を成長させるとともに、マスク層 2 上に極性が反転した I I I 族窒化物半導体極性反転結晶 3 を成長させる工程とを含む。ここで、I I I 族窒化物半導体結晶基板 1 1 を成長させる方法および条件は、実施形態 3 における I I I 族窒化物半導体結晶 1 0 を成長させる方法および条件と同様である。

【0052】

次に、図 3 (b) に示すように、実施形態 5 と同様にして、上記 I I I 族窒化物半導体結晶基板上に 1 層以上の I I I 族窒化物半導体結晶層 1 2 を成長させる。次いで、図示はしないが、I I I 族窒化物半導体結晶層 1 2 の最上面に p 側電極を形成する。次に、図 3 (c) および図 3 (d) に示すように、実施形態 3 と同様にして、I I I 族窒化物半導体結晶基板 1 1 と I I I 族窒化物半導体結晶層 1 2 から構成される I I I 族窒化物半導体結晶 1 0 を上記下地基板 1 から分離する。さらに、図示はしないが、下地基板 1 から分離した I I I 族窒化物半導体 1 0 の下面 1 0 a (I I I 族窒化物半導体基板 1 1 の下面に相当) に n 側電極を形成することによって半導体デバイスが得られる。

【0053】

(実施形態 8)

本発明にかかるさらに別の I I I 族窒化物半導体デバイスの製造方法は、図 4 を参照して、下地基板 1 上に 1 以上の I I I 族窒化物結晶基板 1 1 を成長させる工程として、図 4 (a) に示す下地基板 1 に 1 以上の種結晶 4 を設置する工程と、図 4 (b) に示す種結晶 4 を核として I I I 族窒化物半導体結晶 1 1 を成長させる工程とを含む。ここで、種結晶は、特に制限はないが、品質のよい結晶を得る点から、成長させようとする I I I 族窒化物半導体結晶と同種の結晶であることが好ましい。

【0054】

次に、図 3 (b) に示すように、実施形態 5 と同様にして、上記 I I I 族窒化物半導体結晶基板上に 1 層以上の I I I 族窒化物半導体結晶層 1 2 を成長させる。次いで、図示はしないが、I I I 族窒化物半導体結晶層 1 2 の最上面に p 側電極を形成する。

【0055】

次に、図 4 (c) に示すように、実施形態 4 と同様にして、I I I 族窒化物半導体結晶基板 1 1 および I I I 族窒化物半導体結晶層 1 2 から構成される I I I 族窒化物半導体結

晶 10 を上記下地基板 1 から分離する。本実施形態は、実施形態 4 と同様に、下地基板 1 上に種結晶 2 を設置するだけであるので、種結晶を核として成長した III 族窒化物半導体結晶 10 が下地基板 1 に固着することが少なく、少しの力を加えただけで III 族窒化物半導体結晶 10 を下地基板 1 から分離することができる。

【0056】

さらに、図示はしないが、下地基板 1 から分離した III 族窒化物半導体結晶 10 の下面 10a (III 族窒化物半導体結晶基板 11 の下面に相当) に n 側電極を形成することによって半導体デバイスが得られる。

【0057】

上記実施形態 5 ~ 実施形態 8 においては、下地基板 1 から III 族窒化物半導体結晶 10 を、レーザ照射またはエッチングによって分離する際に、分離面となる III 族窒化物半導体結晶基板 11 の裏面 (III 族窒化物半導体結晶層が形成されていない面をいう、以下同じ) (図 1 ~ 図 4 において、III 族窒化物半導体結晶 10 の下面 10a に相当) には、凹凸表面が形成される。この凹凸表面の存在により、光の取り出し効率が向上する。また、この凹凸表面の表面粗さ R_{p-v} は、 $0.01\mu m \sim 50\mu m$ であることが好ましい。 R_{p-v} が $0.01\mu m$ 未満であると光の取り出し効率の向上効果が小さくなり、 R_{p-v} が $50\mu m$ を超えると n 側電極の形成が難しくなる。ここで、凹凸表面の表面粗さ R_{p-v} とは、凹凸表面における凸部と凹部との高低差距離の最大値をいう。なお、凹凸表面の表面粗さ R_{p-v} は、レーザ干渉計を用いて測定することができる。

【0058】

(実施形態 9)

本発明にかかる一の半導体デバイスは、図 6 を参照して、III 族窒化物半導体結晶 10 を含む III 族窒化物半導体デバイス 50 であって、上記 III 族窒化物半導体結晶 10 は III 族窒化物半導体結晶基板 11 とその上成長させられた 1 層以上の III 族窒化物半導体結晶層 12 とから構成されている。かかる構成を有する III 族窒化物半導体デバイスは、従来よりも少ない工程で効率よく製造することができる。

【0059】

上記半導体デバイスは、より具体的には、図 6 を参照して、III 族窒化物半導体結晶基板 11 上に、1 層以上の III 族窒化物半導体結晶層 12 として、n 型 GaN 層 21、 $In_{0.2}Ga_{0.8}N$ 層 22、 $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ 層 23、p 型 GaN 層 24 が順次形成され、さらに III 族窒化物半導体結晶 10 の下面 (III 族窒化物半導体結晶基板 11 の下面に相当) に n 側電極 51、III 族窒化物半導体結晶 10 の上面 (p 型 GaN 層 24 の上面に相当) には p 側電極が形成された半導体デバイス 50 であり、発光 55 を発する。

【実施例】

【0060】

以下、本発明にかかる III 族窒化物半導体結晶の製造方法に基づいて作製された半導体デバイスを実施例として、従来の III 族窒化物半導体結晶の製造方法に基づいて作製された半導体デバイスを比較例として具体的に説明する。

【0061】

(比較例 1)

図 7 を参照して、図 7 (a) に示すように、下地基板 1 として $30mm \times 30mm \times$ 厚さ $400\mu m$ のサファイア基板上に、マスク層 2 としてスパッタ法により厚さ $50nm$ の SiO_2 層を形成 (第 1 工程) した後、フォトリソグラフィ法により開口部幅 $4\mu m$ の四角形状の開口部を $8\mu m$ 間隔で設けた (第 2 工程)。

【0062】

次に、図 7 (b) に示すように、下地基板 1 およびマスク層 2 上に、HVPE 法により、GaCl ガス流量 $100sccm$ ($1sccm$ とは、標準状態 ($1013hPa$ 、 $0^\circ C$) のガスが 1 分間に $1cm^3$ 流れる流量を示す、以下同じ)、 NH_3 ガス流量 $6000sccm$ 、成長温度 $1050^\circ C$ で、成長時間 15 時間の条件で、III 族窒化物半導体結晶基板 11 となる厚さ $1300\mu m$ の GaN 結晶を成長させた (第 3 工程)。その後、図 7 (

c) に示すように、下地基板 1 であるサファイア基板を研削により除去した (第 4 工程) 後、上記 GaN 結晶を内周刃によりスライスして (第 5 工程)、厚さ $550\text{ }\mu\text{m}$ の GaN 基板を 2 枚得た。さらに、この GaN 基板を研削 (第 6 工程)、研磨 (第 7 工程) して、III 族窒化物半導体結晶基板 11 として厚さ $400\text{ }\mu\text{m}$ の GaN 基板を得た。

【0063】

次に、図 7 (d) に示すように、上記の厚さ $400\text{ }\mu\text{m}$ の GaN 基板 (III 族窒化物半導体結晶基板 11) 上に、MOCVD 法により、1 層以上の III 族窒化物半導体結晶層 12 として、厚さ $5\text{ }\mu\text{m}$ の n 型 GaN 層 21、厚さ 3 nm の $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層 22、厚さ 60 nm の $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層 23、厚さ 150 nm の p 型 GaN 層 24 を順次成長させた (第 8 工程)。さらに、各チップに分離したときに GaN 基板の下面の中央部になる位置に直径 $80\text{ }\mu\text{m}$ × 厚さ 100 nm の n 側電極 51 を形成し (第 9 工程)、p 型 GaN 層 24 の上面に厚さ 100 nm の p 側電極 52 を形成した (第 10 工程)。次いで、図 7 (e) に示すように、上記 III 族窒化物半導体結晶 10 を $400\text{ }\mu\text{m}$ × $400\text{ }\mu\text{m}$ の各チップに分離して (第 11 工程)、III 族窒化物半導体デバイス 50 である LED を形成した。このように、従来の製造方法においては、この LED を製造するために 10 の製造工程を要した。この LED における GaN 基板の裏面の凹凸表面の表面粗さ R_{p-v} をレーザ干渉計で測定したところ、 $0.004\text{ }\mu\text{m}$ であった。この LED は、ピーク波長が 450 nm の発光スペクトルを有していた。このピーク波長における発光スペクトルの相対強度を 1.0 として、以下の実施例における LED のピーク波長 450 nm における発光スペクトルの相対強度を評価した。ここで、LED の発光スペクトルの測定は分光光度計を用いて行なった。結果を表 1 にまとめた。

【0064】

(実施例 1)

本実施例は、上記実施形態 5 に対応する実施例である。図 1 を参照して、図 1 (a) に示すように、下地基板 1 として厚さ $400\text{ }\mu\text{m}$ のサファイア基板上に、マスク層 2 としてスパッタ法により厚さ 50 nm の SiN 層を形成 (第 1 工程) した後、フォトリソグラフィにより、開口部間隔 P_w が $410\text{ }\mu\text{m}$ となるように開口部幅 W_w が $400\text{ }\mu\text{m}$ の四角形状の開口部を設けた (第 2 工程)。

【0065】

次に、図 1 (b) に示すように、HVPE 法により、GaCl ガス流量が 100 sccm 、 NH_3 ガス流量が 6000 sccm 、成長温度が 1050°C 、成長時間が 20 分 (0.33 時間) の条件で結晶を成長させたところ (第 3 工程)、下地基板 1 の開口面 1a 上のみに、III 族窒化物半導体結晶基板 11 として $400\text{ }\mu\text{m}$ × $400\text{ }\mu\text{m}$ × 厚さ $25\text{ }\mu\text{m}$ の GaN 基板が得られた。続いて、MOCVD 法により、上記 III 族窒化物半導体結晶基板 11 上に、比較例 1 と同様に、1 層以上の III 族窒化物半導体結晶層 12 として、厚さ $5\text{ }\mu\text{m}$ の n 型 GaN 層 21、厚さ 3 nm の $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層 22、厚さ 60 nm の $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層 23、厚さ 150 nm の p 型 GaN 層 24 を順次成長させた (第 4 工程)。

【0066】

次に、図示はしないが、p 型 GaN 層 24 の上面に厚さ 100 nm の p 側電極を形成した (第 5 工程) 後、図 1 (c) に示すように、エキシマレーザ (波長 250 nm) を III 族窒化物半導体結晶 10 と下地基板 1 との界面に照射して、III 族窒化物半導体結晶 10 と下地基板 1 とを分離した (第 6 工程)。さらに、図示はしないが、III 族窒化物半導体結晶 10 における GaN 基板の下面の中央部に直径 $80\text{ }\mu\text{m}$ × 厚さ 100 nm の n 側電極を形成して (第 7 工程)、本実施例の LED を得た。本 LED における GaN 基板の裏面の凹凸表面の表面粗さ R_{p-v} は $0.035\text{ }\mu\text{m}$ であった。比較例 1 の LED のピーク波長 450 nm における発光スペクトルの相対強度を 1.0 とするとき、本実施例の LED のピーク波長 450 nm における発光スペクトルの相対強度は 1.2 であった。結果を表 1 にまとめた。

【0067】

【実施例 2】

本実施例は、上記実施形態 5 に対応する実施例であり、実施例 1 よりも大きい LED に関する実施例である。すなわち、マスク層における開口部を、開口部間隔 P_w が $3010\ \mu\text{m}$ 、開口部幅 W_w が $3000\ \mu\text{m}$ となるように形成し、下地基板の開口面上に $3000\ \mu\text{m} \times 3000\ \mu\text{m} \times$ 厚さ $25\ \mu\text{m}$ の GaN 基板を得た他は、実施例 1 と同様の工程で LED を作製した。したがって、全工程数は、実施例 1 と同様に 7 である。本 LED における GaN 基板の裏面の凹凸表面の表面粗さ R_{p-v} は $0.048\ \mu\text{m}$ であった。比較例 1 の LED のピーク波長 $450\ \text{nm}$ における発光スペクトルの相対強度を 1.0 とするとき、本実施例の LED のピーク波長 $450\ \text{nm}$ における発光スペクトルの相対強度は 1.2 であった。結果を表 1 にまとめた。

【0068】

【実施例 3】

本実施例は、上記実施形態 6 に対応する実施例である。図 2 を参照して、図 2 (a) に示すように、下地基板 1 として厚さ $400\ \mu\text{m}$ の GaN 基板上に、マスク層 2 としてスパッタ法により厚さ $50\ \text{nm}$ の SiO_2 層を形成 (第 1 工程) した後、フォトリソグラフィ法により、開口部間隔 P_w が $400\ \mu\text{m}$ となるように開口部幅 W_w が $100\ \mu\text{m}$ の四角形状の開口部を設けた (第 2 工程)。

【0069】

次に、図 2 (b) に示すように、HVPE 法により、GaCl ガス流量が $100\ \text{sccm}$ 、 NH_3 ガス流量が $6000\ \text{sccm}$ 、成長温度が 1050°C 、成長時間が 50 分間 (0.83 時間) の条件で結晶を成長させたところ (第 3 工程)、マスク層 2 の開口部 2a 下に位置する下地基板 1 の開口面 1a 上および開口部 2a を取り囲むマスク層の一部上面 2b 上に、III 族窒化物半導体結晶基板 11 として $300\ \mu\text{m} \times 300\ \mu\text{m} \times$ 厚さ $85\ \mu\text{m}$ の GaN 基板が得られた。続いて、MOCVD 法により、上記 III 族窒化物半導体結晶基板 11 上に、実施例 1 と同様に、1 層以上の III 族窒化物半導体結晶層 12 として、厚さ $5\ \mu\text{m}$ の n 型 GaN 層 21、厚さ $3\ \text{nm}$ の $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層 22、厚さ $60\ \text{nm}$ の $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層 23、厚さ $150\ \text{nm}$ の p 型 GaN 層 24 を順次成長させた (第 4 工程)。

【0070】

次に、図示はしないが、p 型 GaN 層 24 の上面に厚さ $100\ \text{nm}$ の p 側電極を形成した (第 5 工程) 後、図 1 (c) に示すように、フッ酸水溶液 (フッ酸: 1 質量%) に浸漬してマスク層 2 をエッチングにより除去した (第 6 工程) 後、 KOH 水溶液 (KOH : 5 質量%) に浸漬して III 族窒化物半導体結晶 10 の下地基板 1 に接する下面 10a (窒素元素からなる原子面) をエッチングすることにより、III 族窒化物半導体結晶 10 と下地基板 1 とを分離した (第 7 工程)。さらに、図示はしないが、III 族窒化物半導体結晶 10 における GaN 基板の下面の中央部に直径 $80\ \mu\text{m} \times$ 厚さ $100\ \text{nm}$ の n 側電極を形成して (第 8 工程)、本実施例の LED を得た。本 LED における GaN 基板の裏面の凹凸表面の表面粗さ R_{p-v} は $1.5\ \mu\text{m}$ であった。比較例 1 の LED のピーク波長 $450\ \text{nm}$ における発光スペクトルの相対強度を 1.0 とするとき、本実施例の LED のピーク波長 $450\ \text{nm}$ における発光スペクトルの相対強度は 1.1 であった。結果を表 1 にまとめた。

【0071】

【実施例 4】

本実施例は、上記実施形態 7 に対応する実施例である。図 3 を参照して、図 3 (a) に示すように、下地基板 1 として厚さ $350\ \mu\text{m}$ のサファイア基板上に、マスク層 2 としてスパッタ法により厚さ $50\ \text{nm}$ の SiO_2 層を形成 (第 1 工程) した後、フォトリソグラフィ法により、開口部間隔 P_w が $4000\ \mu\text{m}$ となるように開口部幅 W_w が $3000\ \mu\text{m}$ の四角形状の開口部を設けた (第 2 工程)。

【0072】

次に、図 3 (b) に示すように、HVPE 法により、GaCl ガス流量が $100\ \text{sccm}$

m、 NH_3 ガス流量が6000 sccm、成長温度が980℃、成長時間が5時間の条件で結晶を成長させたところ（第3工程）、下地基板1の開口面1a上にIII族窒化物半導体結晶基板11として $3000\mu\text{m} \times 3000\mu\text{m} \times$ 厚さ $400\mu\text{m}$ のGaN基板が得られ、マスク層2上にIII族窒化物半導体極性反転結晶3として極性反転GaN層が得られた。続いて、MOCVD法により、上記III族窒化物半導体結晶基板11上に、実施例1と同様に、1層以上のIII族窒化物半導体結晶層12として、厚さ $5\mu\text{m}$ のn型GaN層21、厚さ3nmの $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層22、厚さ60nmの $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層23、厚さ150nmのp型GaN層24を順次成長させた（第4工程）。

【0073】

次に、図示はしないが、p型GaN層24の上面に厚さ100nmのp側電極を形成した（第5工程）後、図1（c）に示すように、KOH水溶液（KOH：5質量%）に浸漬してIII族窒化物半導体極性反転結晶層3を上面3bである窒素元素からなる原子面の方からエッチングにより除去した（第6工程）後、フッ酸水溶液（フッ酸：1質量%）に浸漬してマスク層2をエッチングにより除去した（第7工程）後、KOH水溶液（KOH：5質量%）に浸漬してIII族窒化物半導体結晶10の下地基板1に接する下面10a（窒素元素からなる原子面）をエッチングすることにより、III族窒化物半導体結晶10と下地基板1とを分離した（第8工程）。さらに、図示はしないが、III族窒化物半導体結晶10におけるGaN基板の下面の中央部に直径 $80\mu\text{m} \times$ 厚さ100nmのn側電極を形成して（第9工程）、本実施例のLEDを得た。本LEDにおけるGaN基板の裏面の凹凸表面の表面粗さ R_{p-v} は $15\mu\text{m}$ であった。比較例1のLEDのピーク波長450nmにおける発光スペクトルの相対強度を1.0とすると、本実施例のLEDのピーク波長450nmにおける発光スペクトルの相対強度は1.2であった。結果を表1にまとめた。

【0074】

（実施例5）

本実施例は、上記実施形態5に対応する実施例であり、下地基板として厚さ $300\mu\text{m}$ のSi基板を用いたこと、III族窒化物半導体結晶基板11の成長において、HVPE法により、 AlCl_3 ガス流量が150 sccm、 NH_3 ガス流量が7000 sccm、成長温度が1050℃、成長時間が30分間（0.5時間）の条件で結晶を成長させて、 $400\mu\text{m} \times 400\mu\text{m} \times$ 厚さ $15\mu\text{m}$ のAlN基板を得たこと、III族窒化物半導体結晶と下地基板との分離を、下地基板であるSi基板をフッ酸-硝酸水溶液（フッ酸：1質量%、硝酸：1質量%）でエッチングにより除去することにより行なったこと以外は、実施例1と同様にLEDを作製した。したがって、本実施例におけるLED製作の全工程数は7であった。本LEDにおけるAlN基板の裏面の凹凸表面の表面粗さ R_{p-v} は0.021 μm であった。比較例1のLEDのピーク波長450nmにおける発光スペクトルの相対強度を1.0とすると、本実施例のLEDのピーク波長450nmにおける発光スペクトルの相対強度は1.2であった。結果を表1にまとめた。

【0075】

（実施例6）

本実施例は、上記実施形態5に対応する実施例であり、下地基板として厚さ $300\mu\text{m}$ のAlN基板を用いたこと、III族窒化物半導体結晶基板11の成長において、HVPE法により、 InCl_3 ガス流量が20 sccm、GaClガス流量が70 sccm、 NH_3 ガス流量が7500 sccm、成長温度が880℃、成長時間が1時間の条件で結晶を成長させて、 $400\mu\text{m} \times 400\mu\text{m} \times$ 厚さ $15\mu\text{m}$ の $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 基板を得たこと以外は、実施例1と同様にLEDを作製した。したがって、本実施例におけるLED製作の全工程数は7であった。本LEDにおける $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 基板の裏面の凹凸表面の表面粗さ R_{p-v} は0.33 μm であった。比較例1のLEDのピーク波長450nmにおける発光スペクトルの相対強度を1.0とすると、本実施例のLEDのピーク波長450nmにおける発光スペクトルの相対強度は1.0であった。結果を表1にまとめた。

【0076】

(実施例 7)

本実施例は、上記実施形態 6 に対応する実施例であり、下地基板として厚さ $300\ \mu\text{m}$ の SiC 基板を用いたこと、III 族窒化物半導体結晶基板 11 の成長において、HVPE 法により、 AlCl_3 ガス流量が $60\ \text{sccm}$ 、 GaCl ガス流量が $70\ \text{sccm}$ 、 NH_3 ガス分圧が $8000\ \text{sccm}$ 、成長温度が 1050°C 、成長時間が 1.5 時間の条件で結晶を成長させて、 $300\ \mu\text{m} \times 300\ \mu\text{m} \times$ 厚さ $85\ \mu\text{m}$ の $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{N}$ 基板を得たこと以外は、実施例 3 と同様に LED を作製した。したがって、本実施例における LED 製作の全工程数は 8 であった。本 LED における $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{N}$ 基板の裏面の凹凸表面の表面粗さ R_{p-v} は $3.1\ \mu\text{m}$ であった。比較例 1 の LED のピーク波長 $450\ \text{nm}$ における発光スペクトルの相対強度を 1.0 とするとき、本実施例の LED のピーク波長 $450\ \text{nm}$ における発光スペクトルの相対強度は 1.1 であった。結果を表 1 にまとめた。

【0077】

【表1】

対応実施形態	実施例 1	実施例 2	実施例 3	実施例 4	実施例 5	実施例 6	実施例 7	比較例 1
	形態 5 #7717	形態 5 #7717	形態 6 GaN	形態 7 #7717	形態 5 Si	形態 5 AlN	形態 6 SiC	
下地基板材料								
マ	SiN	SiN	SiO ₂	SiO ₂	SiN	SiN	SiO ₂	#7717
ス	410	3010	400	4000	410	410	400	
ク	400	3000	100	3000	400	400	100	
III族窒化物結晶基板	原料ガス (sccm)							
	GaCl (100)	GaCl (100)	GaCl (100)	GaCl (100)	AlCl ₃ (150)	InCl ₃ (20) GaCl ₃ (70) NH ₃ (7500)	AlCl ₃ (60) GaCl (70) NH ₃ (8000)	GaCl (100)
	NH ₃ (6000)	NH ₃ (6000)	NH ₃ (6000)	NH ₃ (6000)	NH ₃ (7000)	NH ₃ (6000)	NH ₃ (6000)	NH ₃ (6000)
	1050	1050	1050	980	1050	880	1050	1050
	0.33	0.33	0.83	5	0.5	1	1.5	15
III族窒化物半導体結晶層	成長結晶種類							
	GaN	GaN	GaN	GaN	AlN	In _{0.1} Ga _{0.9} N	Al _{0.4} Ga _{0.6} N	GaN
	25	25	85	400	15	15	85	400
	400	3000	300	3000	400	400	300	(30nm)
	n-GaN/ In _{0.2} Ga _{0.8} N /Al _{0.2} Ga _{0.8} N N/p-GaN	n-GaN/ In _{0.2} Ga _{0.8} N /Al _{0.2} Ga _{0.8} N N/p-GaN	n-GaN/ In _{0.2} Ga _{0.8} N /Al _{0.2} Ga _{0.8} N N/p-GaN	n-GaN/ In _{0.2} Ga _{0.8} N /Al _{0.2} Ga _{0.8} N N/p-GaN	n-GaN/ In _{0.2} Ga _{0.8} N /Al _{0.2} Ga _{0.8} N N/p-GaN	n-GaN/ In _{0.2} Ga _{0.8} N /Al _{0.2} Ga _{0.8} N N/p-GaN	n-GaN/ In _{0.2} Ga _{0.8} N /Al _{0.2} Ga _{0.8} N N/p-GaN	n-GaN/ In _{0.2} Ga _{0.8} N /Al _{0.2} Ga _{0.8} N N/p-GaN
基板と下地基板の分離方法	レーザー照射	レーザー照射	エッチング	エッチング	エッチング	レーザー照射	エッチング	研削・研磨
基板裏面のR _{p-v} (μm)	0.035	0.048	1.5	15	0.021	0.33	3.1	0.004
LED製造の工程数	7	7	8	9	7	7	8	11
LEDの相対発光強度	1.2	1.2	1.1	1.2	1.2	1.0	1.1	1.0

(実施例 8)

本実施例は、上記実施形態 8 に対応する実施例である。すなわち、図 4 を参照して、図 4 (a) に示すように、下地基板 1 である厚さ 300 μm のサファイア基板 1 上に、種結晶 4 として 200 μm × 200 μm × 厚さ 100 μm の AlN 微結晶を設置した (第 1 工程)。次に、図 4 (b) に示すように、この AlN 微結晶を核として、HVPE 法により、AlCl₃ ガス流量が 90 sccm、NH₃ ガス流量が 8000 sccm、成長温度が 1

050℃、成長時間が7時間の条件で結晶を成長させたところ（第3工程）、III族窒化物半導体結晶基板11として1000μm×1000μm×厚さ400μmのAlN基板が得られた。続いて、MOCVD法により、上記III族窒化物半導体結晶基板11上に、実施例1と同様に、1層以上のIII族窒化物半導体結晶層12として、厚さ5μmのn型GaN層21、厚さ3nmのIn_{0.2}Ga_{0.8}N層22、厚さ60nmのAl_{0.2}Ga_{0.8}N層23、厚さ150nmのp型GaN層24を順次成長させた（第4工程）。

【0078】

次に、図示はしないが、p型GaN層24の上面に厚さ100nmのp側電極を形成した（第5工程）後、図4（c）に示すように、III族窒化物半導体結晶10に少しの力を加えて、下地基板1からIII族窒化物半導体結晶10を分離した（第6工程）。さらに、図示はしないが、III族窒化物半導体結晶10におけるGaN基板の下面の中央部に直径80μm×厚さ100nmのn側電極を形成して（第7工程）、本実施例のLEDを得た。本LEDにおけるAlN基板の裏面の凹凸表面の表面粗さR_{p-v}は0.014μmであった。比較例1のLEDのピーク波長450nmにおける発光スペクトルの相対強度を1.0とすると、本実施例のLEDのピーク波長450nmにおける発光スペクトルの相対強度は1.0であった。結果を表2にまとめた。

【0079】

（実施例9）

本実施例は、上記実施形態8に対応する実施例であり、下地基板として厚さ300μmのSi基板を用いたこと、種結晶として80μm×80μm×厚さ50μm程度のGaN微結晶を設置したこと、このGaN微結晶を核としてHVPE法により、GaClガス流量が80sccm、NH₃ガス流量が7000sccm、成長温度が1050℃、成長時間が5時間の条件で結晶を成長させてIII族窒化物半導体結晶基板11として700μm×700μm×厚さ300μmのAlN基板を得たこと以外は、実施例9と同様にLEDを作製した。したがって、本実施例におけるLED製作の全工程数は7であった。本LEDにおけるGaN基板の裏面の凹凸表面の表面粗さR_{p-v}は0.018μmであった。比較例1のLEDのピーク波長450nmにおける発光スペクトルの相対強度を1.0とすると、本実施例のLEDのピーク波長450nmにおける発光スペクトルの相対強度は1.0であった。結果を表2にまとめた。

【0080】

【表 2】

		実施例 8	実施例 9
対応実施形態		形態 8	形態 8
下地基板材料		サファイア	Si
種 結 晶	種結晶材料	AlN	GaN
	種結晶厚さ (μm)	100	50
	種結晶横幅 (μm)	200	80
III 族窒 化物 結晶 基板	原料ガス (Pa)	AlCl_3 (90) NH_3 (8000)	GaCl (80) NH_3 (7000)
	結晶成長温度 ($^{\circ}\text{C}$)	1050	1050
	結晶成長時間 (hr)	7	5
	成長結晶種類	AlN	GaN
	結晶厚さ (μm)	400	300
	結晶横幅 (μm)	1000	700
III 族窒化物半導体結晶層		n-GaN/ $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ / $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}$ N/p-GaN	n-GaN/ $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ / $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}$ N/p-GaN
基板と下地基板の分離方法		少しの力	少しの力
基板裏面の $R_{\text{p-v}}$ (μm)		0.014	0.018
LED 製造の工程数		7	7
LED の相対発光強度		1.0	1.0

表 1 および表 2 より明らかなように、LED の発光特性を損なうことなく、LED の従来の製造方法における 11 の工程を、本発明にかかる製造方法においては、実施形態 5 および実施形態 8 の場合では 7 の工程に、実施形態 6 の場合では 8 の工程に、実施形態 7 の場合では 9 の工程に、それぞれ工程数を少なくすることにより、LED のより効率的な製造が可能となった。

【0081】

本発明にかかる III 族窒化物半導体結晶の製造方法によると、直接半導体デバイス程度の大きさの III 族窒化物半導体結晶を作製することができるため、従来の半導体デバイスの製造の際に必要なであった III 族窒化物半導体結晶のスライス、研磨およびチップ化の各工程を不要とし、さらに効率の高い III 族窒化物半導体デバイスの製造が可能となった。

【0082】

今回開示された実施の形態および実施例はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した説明でなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内のすべての変更が含まれることが意図される。

【産業上の利用可能性】

【0083】

上記のように、本発明は、半導体デバイス程度の大きさの III 族半導体結晶およびその効率的な製造方法ならびに III 族窒化物半導体デバイスに広く利用することができる。

【図面の簡単な説明】

【0084】

【図 1】本発明にかかる一の III 族窒化物半導体結晶および III 族窒化物半導体

デバイスの製造方法を説明する断面模式図である。ここで、(a)は下地基板に開口部を有するマスク層を形成する工程を示し、(b)は下地基板の開口面上にIII族窒化物半導体結晶を成長させる工程を示し、(c)および(d)はIII族窒化物半導体結晶を下地基板から分離する工程を示す。

【図2】本発明にかかる別のIII族窒化物半導体結晶およびIII族窒化物半導体デバイスの製造方法を説明する断面模式図である。ここで、(a)は下地基板に開口部を有するマスク層を形成する工程を示し、(b)はマスク層の開口部下に位置する下地基板の開口面上および開口部を取り囲むマスク層の一部上にIII族窒化物半導体結晶を成長させる工程を示し、(c)はマスク層を除去する工程を示し、(d)はIII族窒化物半導体結晶を下地基板から分離する工程を示す。

【図3】本発明にかかるまた別のIII族窒化物半導体結晶およびIII族窒化物半導体デバイスの製造方法を説明する断面模式図である。ここで、(a)は下地基板に開口部を有するマスク層を形成する工程を示し、(b)は下地基板の開口面上にIII族窒化物半導体結晶を成長させ、マスク層上にIII族窒化物半導体極性反転結晶を成長させる工程を示し、(c)はIII族窒化物半導体極性反転結晶およびマスク層を除去する工程を示し、(d)はIII族窒化物半導体結晶を下地基板から分離する工程を示す。

【図4】本発明にかかるさらに別のIII族窒化物半導体結晶およびIII族窒化物半導体デバイスの製造方法を説明する断面模式図である。ここで、(a)は下地基板に種結晶を設置する工程を示し、(b)は種結晶を核としてIII族窒化物半導体結晶を成長させる工程を示し、(c)はIII族窒化物半導体結晶を下地基板から分離する工程を示す。

【図5】本発明にかかるIII族窒化物半導体結晶の形状を示す立体模式図である。ここで、(a)は六角平板形状を示し、(b)は四角平板形状を示し、(c)は三角平板形状を示す。

【図6】本発明にかかる一のIII族窒化物半導体デバイスを示す断面模式図である。

【図7】III族窒化物半導体デバイスの従来の製造方法を説明する断面模式図である。ここで、(a)は下地基板に開口部を有するマスク層を形成する工程を示し、(b)は下地基板およびマスク層上にIII族窒化物半導体結晶を成長させる工程を示し、(c)はIII族窒化物半導体結晶をスライス、研磨してIII族窒化物半導体結晶基板を形成する工程を示し、(d)はIII族窒化物半導体結晶基板上にIII族窒化物半導体結晶層および電極を形成する工程を示し、(e)はIII族窒化物半導体結晶の積層体をチップ化する工程を示す。

【符号の説明】

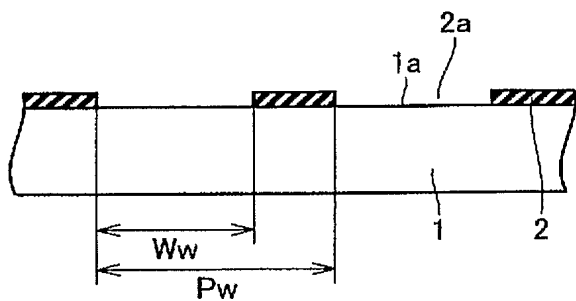
【0085】

1 下地基板、1a 開口面、2 マスク層、2a 開口部、2b 開口部を取り囲むマスク層の一部上面、3 III族窒化物半導体極性反転結晶、3a 下面、3b 上面、4 種結晶、10 III族窒化物半導体結晶、10a 下面、10b 上面、10s 側面、11 III族窒化物半導体結晶基板、12 III族窒化物半導体結晶層、21 n型GaN層、22 In_{0.2}Ga_{0.8}N層、23 Al_{0.2}Ga_{0.8}N層、24 p型GaN層、50 III族窒化物半導体デバイス、51 n側電極、52 p側電極。

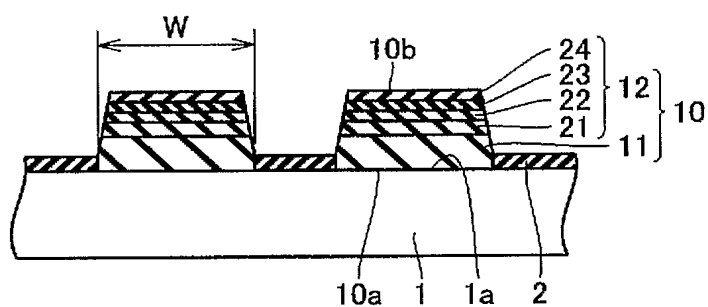
【書類名】 図面

【図 1】

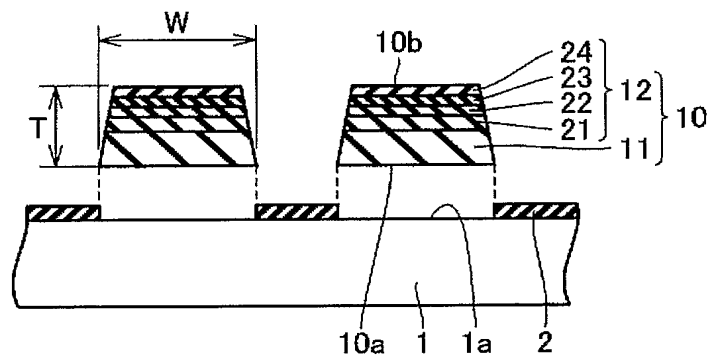
(a)



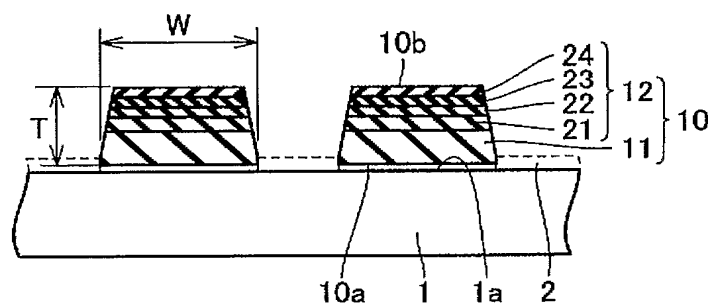
(b)



(c)

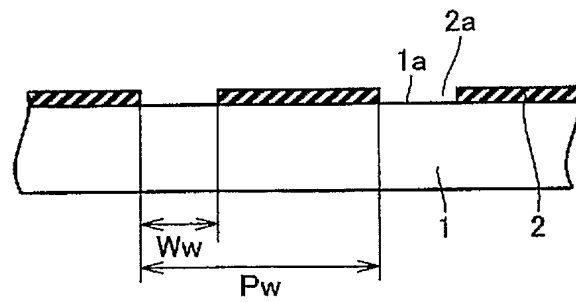


(d)

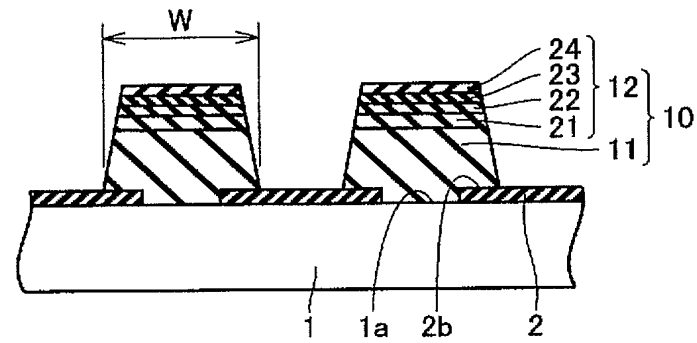


【図 2】

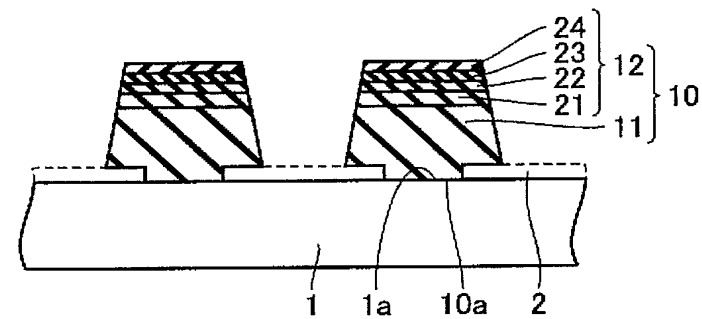
(a)



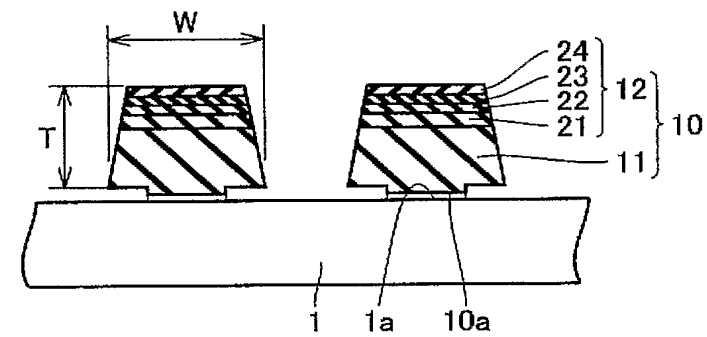
(b)



(c)

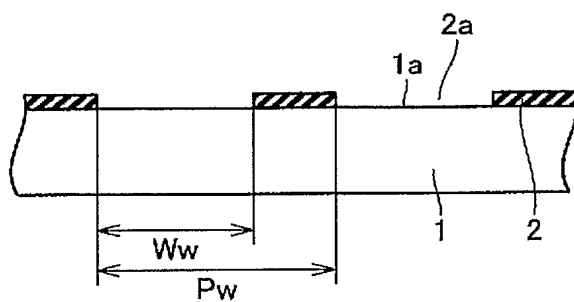


(d)

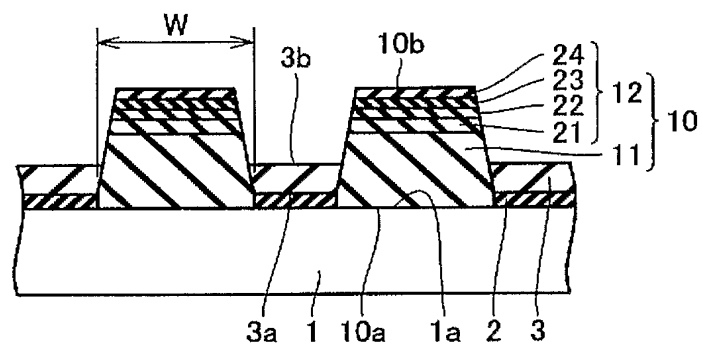


【図 3】

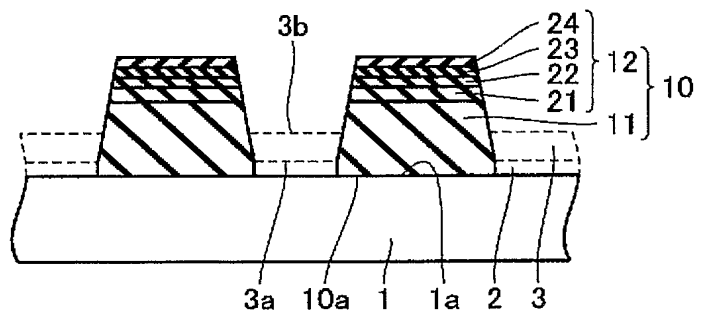
(a)



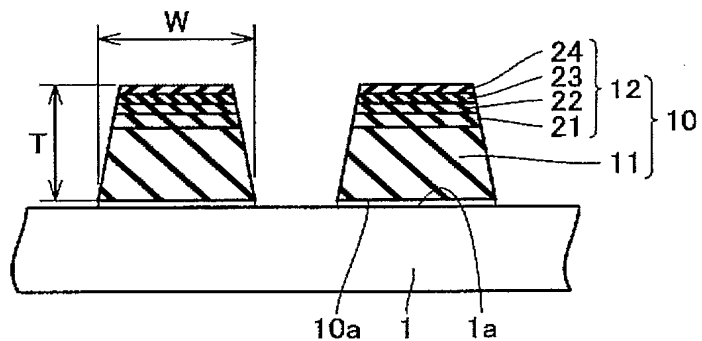
(b)



(c)

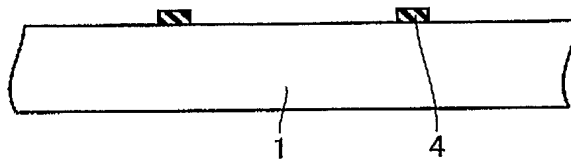


(d)

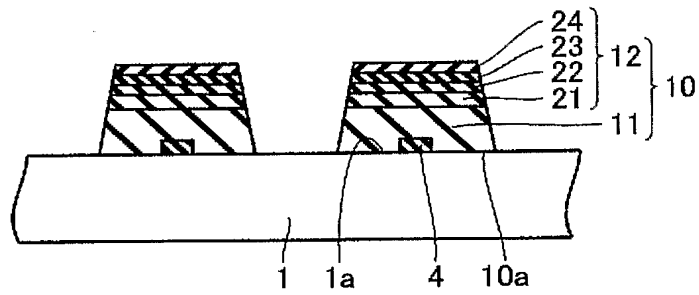


【図 4】

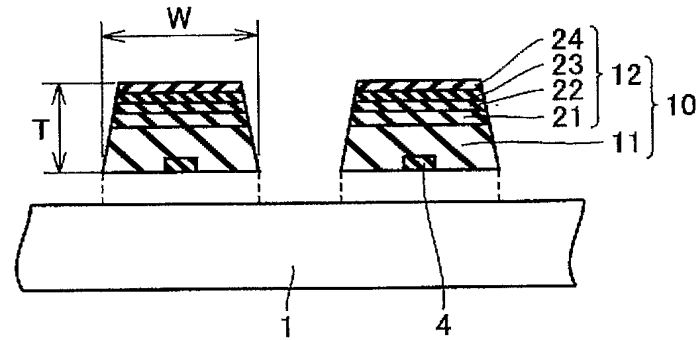
(a)



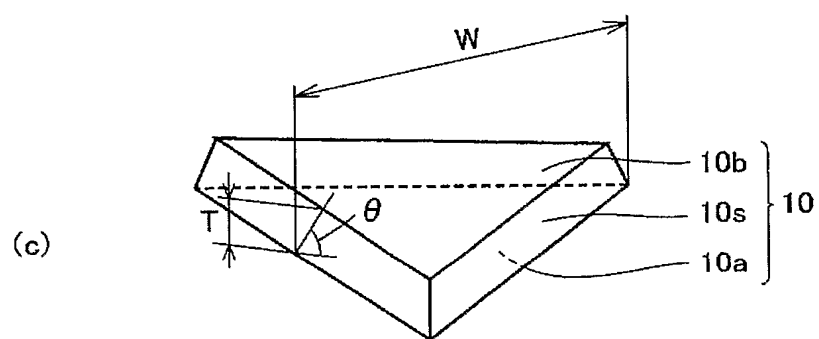
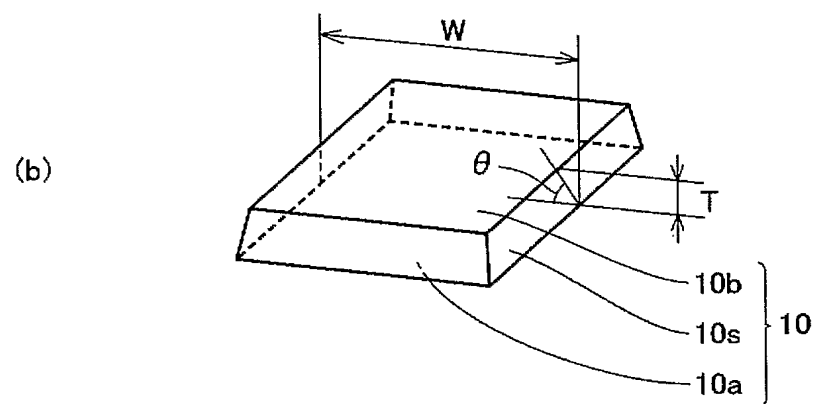
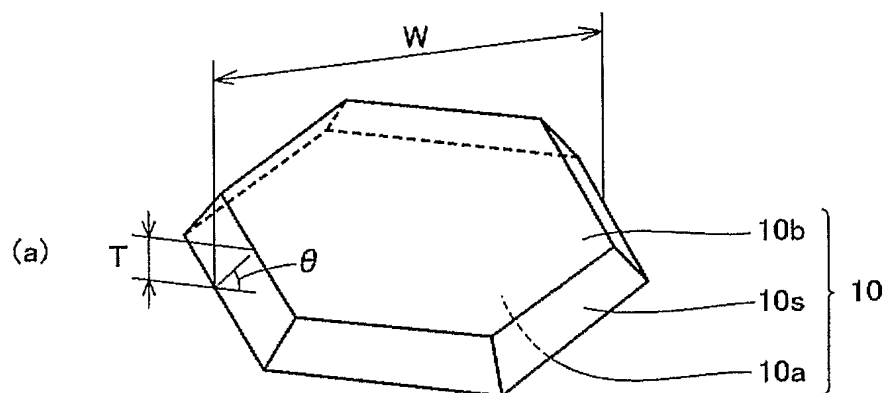
(b)



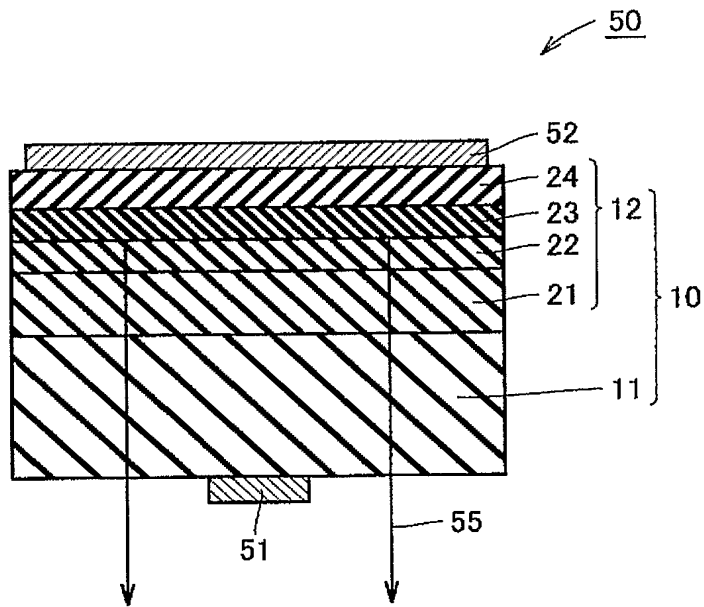
(c)



【図 5】

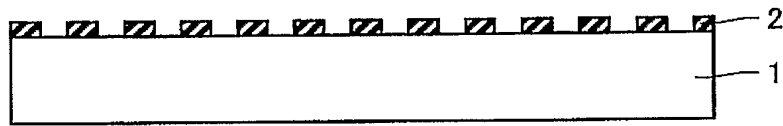


【図 6】

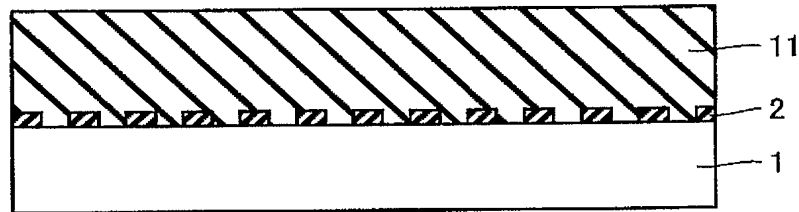


【図 7】

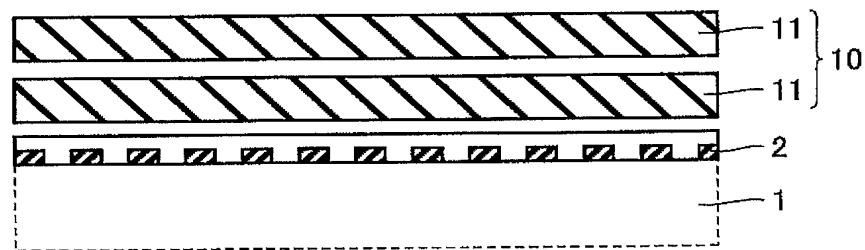
(a)



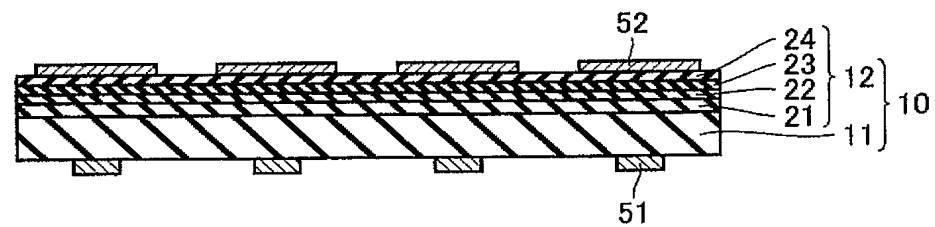
(b)



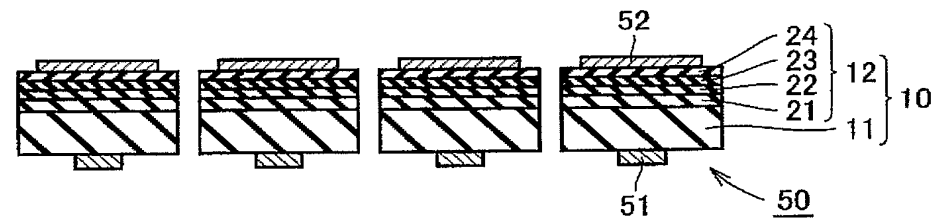
(c)



(d)



(e)



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 半導体デバイス程度の大きさの I I I 族半導体結晶およびその製造方法ならびに I I I 族窒化物半導体デバイスおよびその製造方法を提供する。

【解決手段】 下地基板 1 上に 1 以上の I I I 族窒化物半導体結晶基板 1 1 を成長させる工程と、I I I 族窒化物半導体結晶基板 1 1 上に 1 層以上の I I I 族窒化物半導体結晶層 1 2 を成長させる工程と、I I I 族窒化物半導体結晶基板 1 1 および I I I 族窒化物半導体結晶層から構成される I I I 族窒化物半導体結晶 1 0 を下地基板 1 から分離する工程とを含み、I I I 族窒化物半導体結晶 1 0 の厚さが $10\mu\text{m} \sim 500\mu\text{m}$ 、幅が $0.2\text{mm} \sim 5\text{mm}$ である I I I 族窒化物半導体結晶の製造方法。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 4 - 1 4 7 9 1 4

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 2 1 3 0]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 9 日

[変更理由]

新規登録

住 所

大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3 号

氏 名

住友電気工業株式会社